

# Екологічна безпека та раціональне природокористування

УДК 504.61

## МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИРОДНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У РАЙОНАХ НАФТОГАЗОВИДОБУВАННЯ

*Л.М. Архипова**ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 505942,  
e-mail: [konseovich@ukr.net](mailto:konseovich@ukr.net)*

Ідея використання відстані від еталонного об'єкта як міри природно-техногенної небезпеки об'єктів реалізується в явному вигляді в моделі відстані. Як комплексний критерій екологічної небезпеки природно-технічних систем пропонується використовувати відстань між еталонним і порівнюваним варіантом в багатовимірному просторі їх часткових показників природно-техногенної небезпеки. Найбільш стійку оцінку, яка дозволяє порівнювати не лише різні варіанти, але й оптимізувати параметри, одержуємо, якщо як еталонну модель використовувати теоретично граничну (ідеальну) модель, що має одночасно всі найкращі показники. Специфіка нормування часткових показників, використана в даній роботі, полягає в забезпеченні умови повного зрівнювання абсолютних приростів комплексного критерію при рівних відносних змінах. Пропонуються варіанти визначення вагових коефіцієнтів часткових показників природно-техногенної небезпеки.

Ключові слова: екологічна небезпека, природно-технічні системи, модель відстані

Идея использования расстояния от эталонного объекта как меры природно-техногенной опасности объектов реализуется в виде в модели расстояния. Как комплексный критерий экологической опасности природно-технических систем предлагается использовать расстояние между эталонным и сравниваемым вариантом в многомерном пространстве их частичных показателей природно-техногенной опасности. Наиболее стойкую оценку, которая позволяет сравнивать не только разные варианты, но и оптимизировать параметры, получаем при использовании в виде эталонной модели теоретически предельной (идеальной) модели, имеющей одновременно все лучшие показатели. Специфика нормирования частичных показателей, использованная в данной работе, заключается в обеспечении условия полного уравнивания абсолютных приростов комплексного критерия при равных относительных изменениях. Предложены варианты определения весовости коэффициентов частичных показателей природно-техногенной опасности.

Ключевые слова: экологическая опасность, природно-технические системы, модель расстояния

The idea of the using a distance from a standard object as a measure of natural-technogenic danger of objects is realized in the form of the model of distance. As a complex criterion of ecological danger of the natural-technical systems it is suggested to use the distance between the standard and compared version in multidimensional space of their partial indices of natural-technogenic danger. We'll get the most regular assessment enabling to compare not only different versions but to optimize parameters if as a standard model we use theoretically ideal one which simultaneously possesses all best indices. The specific character of partial indices standardization which is used in this work, consists in providing the condition of complete equalization of absolute increases of complex criterion at equal relative changes. The versions of weighty of coefficients of natural-technogenic danger partial indices

Keywords: ecological danger, natural-technical systems, model of distance

Територія Прикарпаття належить до Волинського нафтопромислового району. Наявність численних об'єктів буріння, експлуатаційних свердловин, газонафтотранспортної системи є причиною додаткового техногенного навантаження на водне середовище. Актуаль-

ним в проектуванні і управлінні екологічною безпекою природно-техногенних гідроєкосистем (ПТГЕС) є створення оптимальних варіантів, що забезпечують мінімізацію техногенної дії впродовж всього життєвого циклу технічної системи. Обґрунтований вибір найкращого з

конкурентоздатних варіантів є дуже складним завданням і полягає у визначенні певних показників і їх оцінці. Найбільш переконливими є детерміновані показники екологічної безпеки проєктованих систем. Але обмежена можливість застосування точних математичних методів через відсутність достатньої статистичної, картографічної та іншої інформації про гідро-екологічні показники і технічні характеристики ПТГЕС, а також надійних математичних моделей, що описують реальний стан системи, часто роблять експертні оцінки єдиним засобом вирішення завдань оцінки екологічної безпеки ПТГЕС.

Пошук методів для визначення комплексного критерію екологічної безпеки при виборі оптимального варіанту розташування природно-технічної системи в межах території нафтогазовидобування є вельми складним завданням. Це можуть бути різні методи [1, 2, 4]: узагальненого показника; інтегрального критерію; зведення завдання з багатьма показниками до завдання з одним головним показником; послідовних поступок, що забезпечують максимальне значення головного показника за рахунок корегування складових показників; векторної оптимізації тощо. У роботах [5, 6, 7] розглядається оцінка ефективності систем за комплексними критеріями, які представляють різні функціональні характеристики. Цільова функція, що характеризує ефективність даної оптимізації і містить деяку сукупність цих параметрів і критеріїв, задається у вигляді полінома деякої міри від їх значень. Невідомі параметри цього полінома визначаються на основі наявних даних за допомогою регресійного аналізу. Завданням даної роботи є розгляд можливості застосування цього підходу і адаптація методу векторної оптимізації для комплексної оцінки екологічної безпеки ПТГЕС в районах нафтогазовидобування.

Завдання комплексного оцінювання показників екологічної безпеки ПТГЕС може бути сформульовано таким чином. Приймаємо за часткові показники природно-техногенної небезпеки різні екологічні аспекти ПТГЕС. Під екологічним аспектом розуміємо елемент системи (або діяльності організації, продукції, або послуг), який взаємодіє з довкіллям (за ДСТУ ISO 14001:2006). У нашому випадку часткові показники природно-техногенної небезпеки — це параметричні, інгредієнтні та інші негативні впливи на гідроекосистему технічних систем впродовж життєвого циклу, а також вимірювані параметри чинників природної небезпеки в районах нафтогазовидобутку. Показники природно-техногенної небезпеки можна вважати також і частковими показниками якості ПТГЕС. Під якістю згідно визначення міжнародного стандарту ISO 8402-94 розумітимемо сукупність властивостей і характеристик ПТГЕС, які надають їй здатності задовольняти обумовлені або передбачувані потреби. Такою обумовленою потребою можна вважати мінімізацію техногенного впливу на гідроекосистему і макси-

мізація показників екологічної безпеки ПТГЕС в районах нафтогазовидобування.

Тоді відповідність ПТГЕС цільовому призначенню і рівень її безпеки повністю характеризується сукупністю з  $n$  часткових показників природно-техногенної небезпеки. Кожен з них чисельно описує або негативний вплив на гідроекосистему певного ієрархічного рівня технічної системи, або негативний вплив на один з компонентів гідроекосистеми чи певний етап життєвого циклу технічної системи тощо. Набір часткових показників природно-техногенної небезпеки розробляється для вирішення конкретних завдань, об'єднаних загальною метою — підвищення рівня екологічної безпеки ПТГЕС у районах нафтогазовидобування.

Необхідно з безлічі  $X$ , що складається з  $N$  конкурентних варіантів проєктованих ПТГЕС, з різними параметричними даними, вибрати варіант, який найповніше відповідає цільовому призначенню за всією сукупністю часткових показників природно-техногенної небезпеки. Цей варіант загалом не володітиме жодним з часткових показників природно-техногенної небезпеки, значення якого є екстремальними для всієї параметричної безлічі, що характеризує порівнювані варіанти, а буде компромісним рішенням для всієї сукупності часткових показників природно-техногенної небезпеки. При такому підході цільове призначення ПТГЕС виражається як

$$x_i \in X, (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (1)$$

і характеризується сукупністю  $n$  одиничних показників природно-техногенної небезпеки, що утворюють векторний критерій, що відповідає комплексному критерію оцінки негативного впливу на гідроекосистему в районах нафтогазовидобування.

$$\bar{K} = (k_1, k_2, \dots, k_n), \quad (2)$$

де  $k_j = (j = \overline{1, n})$  — часткові показники природно-техногенної небезпеки.

Стан кожного з варіантів  $x_i \in X, (i = 1, 2, 3, \dots, N)$  повністю характеризується вектором  $\bar{K}_j$  в  $n$ -мірному просторі часткових показників природно-техногенної небезпеки.

$$\bar{K}_j = (k_{j1}, k_{j2}, \dots, k_{jn}), j = \overline{1, N}, \quad (3)$$

де  $k_{j1}$  — значення  $j$ -го часткового показника природно-техногенної небезпеки для  $i$ -го варіанту, що розглядається.

Для визначення комплексного показника природно-техногенної небезпеки  $C$ , використовується підхід, що полягає в числовому визначенні векторного критерію, відповідного комплексному критерію за оцінкою екологічної небезпеки ПТГЕС у районах нафтогазовидобування (8). Відповідно до цього підходу задасться деяке перетворення  $g$  [9]

$$g: k \rightarrow c, \quad (4)$$

де:  $k$  — множина станів, що характеризуються різною природно-техногенною небезпекою;

$c$  – множина значень комплексного показника екологічної безпеки.

При виборі в якості  $C$  додатної півосі дійсних чисел, перетворення (4) кожному вектору  $\overline{k}_j \in K$ , ставить у відповідність числову величину  $C_j \in C (j = \overline{1, N})$ , що інтерпретується як значення комплексного показника екологічної безпеки даного альтернативного варіанту ПТГЕС, тобто

$$g: \overline{k}_j \rightarrow C_j, j = \overline{1, N}, \quad (5)$$

де  $C_j$  – значення комплексного показника екологічної безпеки для  $j$ -го варіанту.

Найбільшого поширення серед методів недетермінованого визначення векторного критерію, відповідного комплексному критерію екологічної безпеки за оцінкою негативного впливу на гідроекосистеми в життєвому циклі ПТГЕС в районах нафтогазовидобутку, отримали експертні методи [1, 10].

Для цих методів характерний неявний, заснований на множині нечітких даних, вид перетворень (4) «згортання» векторного критерію проектного об'єкта в підсумкову числову оцінку комплексного показника екологічної безпеки.

Значного поширення для комплексної оцінки проектованих систем набув метод числового визначення векторного критерію, що характеризує необхідну якість проектованої системи на основі моделей алгебри – лінійної і мультиплікативної [2, 5, 7, 11].

Лінійний або адитивний критерій якості має вигляд [11]:

$$C_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot y_{ij_n}, j = \overline{1, N}, \quad (6)$$

де:  $\alpha_i (i = \overline{1, N})$  – вагові коефіцієнти, що відображають важливість окремих часткових показників природно-техногенної безпеки;

$y_{ij_n} (i = \overline{1, N})$  – нормовані значення часткових показників природно-техногенної безпеки.

Також застосовуються такі спрощені модифікації лінійної моделі, в яких узагальнені критерії представляється у вигляді простої суми часткових показників, тобто:

$$C_j = \sum_{i=1}^n y_{ij_n}, j = \overline{1, N}. \quad (7)$$

Вочевидь, що такий критерій буде адекватним для оцінювання безпеки лише в тому випадку, якщо всі часткові показники мають однакову вагомість і одну розмірність шкали виміру.

Основними перевагами лінійної моделі числового визначення векторного критерію безпеки є її простота, можливість обчислення узагальненого критерію об'єкта лише на підставі його даних. Істотним недоліком є те, що при знайденому екстремумі можуть виявитися незадовільними значення деяких з часткових по-

казників, тобто лінійна модель узагальненого критерію припускає широку компенсацію одних часткових показників за рахунок інших. Крім того, ця модель придатна лише для випадку незалежних часткових показників.

Мультиплікативна модель числового визначення векторного критерію природно-техногенної безпеки має вигляд [11]:

$$C_j = \prod_{i=1}^n y_{ij}^{\alpha_i}, j = \overline{1, N}, \quad (8)$$

де  $\alpha_i (i = \overline{1, N})$  – коефіцієнт важливості  $i$ -го часткового показника.

Ця модель володіє тими ж властивостями, що і лінійна, але міра взаємної компенсації часткових показників у неї виражена ще більше.

При використанні залежних часткових показників застосовують моделі числового визначення векторного критерію, засновані на факторному аналізі і багатовимірному шкалюванні [5, 6, 7, 9].

Використання факторного аналізу для здобуття узагальненого критерію засноване на гіпотезі про те, що частковий показник  $y_i (i = \overline{1, n})$  є зовнішнім проявом впливу деяких реально існуючих, але прихованих (латентних) чинників. Якщо при цьому існує так званий «головний чинник», що сильно корелює зі всіма частковими показниками, то його значення береться за значення узагальненого критерію. В цьому випадку вважається, що варіація значень часткових показників у вибірці об'єктів обумовлена, насамперед, варіацією головного чинника, і тому можна записати для значень узагальненого критерію [6]:

$$C_j = \Phi(\varphi_1) + \varepsilon_i, \quad (9)$$

де:  $\varphi_1$  – головний чинник;

$\varepsilon_i$  – залишок, що визначає ту частину  $i$ -го часткового показника, варіація якого викликана зміною інших чинників і випадковими причинами.

У класичному факторному аналізі функція  $\Phi$  у виразі (9) приймається лінійною. Так, у роботі [9] показано, що, виходячи з взаємних кореляцій часткових показників, значення головного чинника може бути отримане у вигляді такої лінійної комбінації:

$$\varphi_1 = \sum_{i=1}^n r_{i1} \cdot y_{iN}, \quad (10)$$

де:  $r_{i1}$  – компоненти першого власного вектора кореляційної матриці часткових показників;

$y_{iN}$  – нормовані значення часткових показників.

Проте вживання факторного аналізу обмежується досить жорсткими вимогами до вихідних даних. Зокрема, часткові показники повинні бути кількісними і розподілятися відповідно до багатовимірного нормального закону.

Методи чисельного визначення векторного критерію природно-техногенної безпеки (скаляризація векторного критерію) на основі

багатовимірному шкалюванню [11, 12] ідейно близькі до факторного аналізу. Тут також передбачається існування незначної кількості латентних характеристик, що визначають стан об'єкта, а, отже, і значення узагальненого критерію. Окрім припущення про існування латентних характеристик, фундаментальним для багатовимірному шкалюванню є припущення про наявність певної залежності між "близькістю" об'єктів в області вихідних часткових показників і відстанню між цими об'єктами в області латентних характеристик.

При визначенні узагальненого критерію метод багатовимірному шкалюванню полягає в проєкції точок, що описують об'єкти, з вихідного ознакового простору в одновимірний простір латентних характеристик, тобто на деяку числову вісь. Вважається, що конфігурація розташування об'єктів на латентній осі, яка мінімізує критерій розбіжності, найбільш адекватно відображає взаємне розташування об'єктів у вихідному просторі ознак. Критерій розбіжності вводить для оцінки того, наскільки добре взаємне розташування об'єктів на латентній осі зберігає інформацію про взаємне розташування об'єктів у вихідному ознаковому просторі.

Значення  $C_j, j = \overline{1, N}$  координат об'єктів на латентній осі інтерпретуються як узагальнений критерій цих об'єктів. Методи багатовимірному шкалюванню мають деякі переваги в порівнянні з методами скаляризування на основі факторного аналізу. Зокрема, вони не залежать від виду розподілу часткових показників і допускають вимір їх на якісному рівні. Проте широкое вживання методів числового визначення вектора природно-техногенної небезпеки на основі факторного аналізу і багатовимірному шкалюванню обмежується цілим рядом властивих їм недоліків. Основними з них є:

- відсутність гарантії існування генерального чинника або адекватної латентної осі;
- спотворення результатів оцінювання об'єктів за наявності обмежень на значення часткових показників.

У всіх розглянутих вище методах скаляризування векторного критерію природно-техногенної небезпеки цільове призначення об'єктів враховувалося або в неявному вигляді (як в методах експертного оцінювання), або шляхом задання набору часткових показників і вказання напряму їх бажаної зміни ("чим більше, тим краще" або "чим менше, тим краще"). Існують методи скаляризування, в яких цільове призначення об'єктів задається в явному вигляді за допомогою еталонного об'єкта, що поміщається в простір часткових показників. Ці методи засновані на так званій моделі відстані. У моделі відстані за узагальнений критерій об'єктів приймається відстань від цих об'єктів до еталонного об'єкта. У різних модифікаціях моделі відстані для обчислення відстані до еталонного об'єкта використовуються різні метрики.

Ефективність альтернативних варіантів має очевидну геометричну інтерпретацію. Оскільки часткові показники природно-техногенної не-

безпеки незалежні, вони утворюють  $n$  - мірну ортогональну систему координат. Тоді ефективність альтернативного варіанту  $C_j, (j = \overline{1, N})$  відображається в цій системі координат у вигляді точки з координатами  $(y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{nj})$  або у вигляді вектора  $\overline{C_j} = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{nj})^T$ , що виходить з початку координат у цю точку.

Відповідно до прийнятого підходу для комплексної оцінки альтернативних варіантів необхідно в просторі часткових показників природно-техногенної небезпеки задатися еталонном, якому відповідає точка з координатами  $C_0, (y_{1e}, y_{2e}, \dots, y_{ne})$  і вибрати відповідну метрику  $l(C_e, C_j)$ .

За еталон доцільно вибирати ідеальний варіант проєктованої технічної системи відносно функції мети, тобто варіант, часткові показники природно-техногенної небезпеки якого одночасно набувають мінімальних значень. При цьому як найкращі можуть розглядатися теоретично досяжні граничні значення часткових показників природно-техногенної небезпеки. В цьому випадку, приймаючи ідеальний варіант проєктованої технічної системи за мету, до якої "прямують" порівнювані варіанти, відстань  $l_j$  від варіантів  $C_j$  до ідеального варіанту  $C_0$  інтерпретуватиметься як узагальнений критерій проєктованої системи:

$$l_j = d(\overline{C_j}, \overline{C_0}), j = \overline{1, N}, \quad (11)$$

де:  $d$  – функція, відповідна використовуваній метриці;

$l_j$  – характеризує ефективність  $j$ -го альтернативного варіанту проєктованої технічної системи;

$\overline{C_j}$  – векторний критерій ефективності  $j$ -го альтернативного варіанту проєктованої системи;

$\overline{C_0}$  – векторний критерій ефективності ідеального варіанту.

Тип простору, що моделює ефективність варіантів, обумовлює необхідність вибору відповідної метрики  $d(\overline{C_j}, \overline{C_0})$ .

Якщо всі часткові показники природно-техногенної небезпеки рівноцінні в усіх відношеннях, то слід використовувати звичайну відстань Евкліда [7,9,11]:

$$l(C_j, C_0) = d(\overline{C_j}, \overline{C_0}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - y_{i0})^2}, \quad (12)$$

$$j = \overline{1, N},$$

де:  $y_{ij}$  – значення  $i$ -го часткового показника природно-техногенної небезпеки для  $j$ -го варіанту;

$y_{i0}$  – значення  $i$ -ї координати вектора ідеального варіанту.

Якщо часткові показники природно-техногенної небезпеки не можна вважати рівноцінними, то слід використовувати різновид метрики Мінковського [7,9,11]:

$$l(C_j, C_0) = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2 (y_{ij} - y_{i0})^2}, j = \overline{1, N}, \quad (13)$$

де  $\alpha_i, i = \overline{1, n}$  – вагові коефіцієнти, що враховують нерівноцінність часткових показників природно-техногенної небезпеки.

Значення  $l(C_j, C_0)$ , що є комплексними показниками природно-техногенної небезпеки і мірою близькості оцінюваних варіантів до ідеального, інтерпретуються як комплексний критерій.

Неоднорідність часткових показників природно-техногенної небезпеки зумовлює необхідність проведення спеціальних перетворень – уніфікації і нормування.

Уніфікація забезпечує приведення часткових показників природно-техногенної небезпеки до єдиного типу – додатних чисел, найменшим значенням яких відповідає кращий варіант проектованої системи за показниками природно-техногенної безпеки. Нормування дозволяє отримати однаковий масштаб виміру уніфікованих часткових показників природно-техногенної небезпеки. Вигляд перетворення показників проектованих технічних систем в районах нафтогазовидобування при їх уніфікації визначається типом зв'язку екологічної ефективності створюваних систем із значенням показника. Для показників, збільшення яких призводить до підвищення безпечності ПТГЕС, використовується перетворення

$$y_{i*} = y_{i \max} - y_i, i = \overline{1, n}, \quad (14)$$

де  $y_{i \max}$  – максимальне граничне значення  $i$ -го часткового показника.

Уніфікація іншої групи показників, зменшення яких призводить до підвищення безпечності ПТГЕС, здійснюється перетворенням:

$$y_{i*} = y_i - y_{i \min}, i = \overline{1, n}, \quad (15)$$

де  $y_{i \min}$  – мінімальне граничне значення  $i$ -го показника.

За такої уніфікації ідеальний варіант проектованої технічної системи в просторі уніфікованих часткових показників природно-техногенної небезпеки завжди знаходиться на початку координат. Ця властивість уніфікованих часткових показників природно-техногенної небезпеки, з одного боку, спрощує обчислення комплексного показника небезпеки, з іншого – дозволяє мати фіксований рівень порівняння ефективності альтернативних варіантів проектованих систем.

Іншим перетворенням часткових показників природно-техногенної небезпеки є нормування. На відміну від уніфікації, яка є корисним, але необов'язковим перетворенням, нормування часткових показників природно-техногенної небезпеки є необхідним перетворенням.

Це пов'язано з тим, що вирази (12-13) для визначення значень комплексного показника небезпеки альтернативних варіантів створюваних систем можуть бути використані лише в тому випадку, якщо всі часткові показники природно-техногенної небезпеки мають однакові масштаби шкал виміру і однакові значення інших параметрів. Інакше різні показники даватимуть різні прирости або "внесок" у відстань до ідеального варіанту. При цьому "внесок" часткових показників природно-техногенної небезпеки у відстань  $l(C_j, C_0)$  залежить, в основному, від таких чинників: діапазону зміни значень показників; масштабу шкал виміру значень показників; важливості показників; доступності реалізації необхідних значень показників. Таким чином, задання нормування значень часткових показників природно-техногенної небезпеки полягає в зрівнюванні їх "внесків" в метрику  $l(C_j, C_0)$  незалежно від чинників, що викликають ці відмінності.

Зазвичай значення часткових показників природно-техногенної небезпеки нормують шляхом їх ділення на деякий нормуючий коефіцієнт, тобто

$$y_{iH} = \frac{y_i}{\beta_i}, \quad (16)$$

де:  $y_{iH}$  – нормоване значення  $i$ -го часткового показника природно-техногенної небезпеки

$\beta_i$  – нормуючий коефіцієнт.

Як нормуючий коефіцієнт пропонуються такі його значення:

$$\beta_i = \sigma(y_i); \quad (17)$$

$$\beta_i = y_i^{\max}; \quad (18)$$

$$\beta_i = y_i^0; \quad (19)$$

$$\beta_i = y_i^{\max} - y_i^{\min}; \quad (20)$$

$$\beta_i = m(y_i), \quad (21)$$

де:  $i = \overline{1, n}, \sigma(y_i)$  – середньоквадратичне відхилення  $i$ -го часткового показника природно-техногенної небезпеки;

$y_i^{\max}, y_i^{\min}, y_i^0$  – максимальне, мінімальне і необхідне значення  $i$ -го часткового показника природно-техногенної небезпеки відповідно;

$m(y_i)$  – математичне очікування  $i$ -го часткового показника природно-техногенної небезпеки.

Всі перелічені вирази для обчислення нормуючого коефіцієнта не мають чіткого теоретичного обґрунтування, оскільки в літературі відсутні рекомендації щодо використання того або іншого вигляду нормуючого коефіцієнта, не вказано, якими властивостями, перевагами або недоліками вони володіють.

Проблема обліку важливості часткових показників природно-техногенної небезпеки виникає при формуванні комплексного критерію з використанням нерівноцінних часткових пока-

зників природно-техногенної небезпеки проєктованих систем. Ця проблема вирішується в більшості випадків шляхом введення у використовувану метрику вагових коефіцієнтів  $\alpha_i (i = \overline{1, n})$ , що відображають відносну важливість часткових показників. Прийmemo, що коефіцієнти  $\alpha_i (i = \overline{1, n})$  пов'язані з важливістю часткових показників прямою залежністю, тобто чим більше значення  $\alpha_i$ , тим вище важливість відповідного часткового показника природно-техногенної небезпеки. З метою набуття відносних значень важливості часткових показників коефіцієнти  $\alpha_i (i = \overline{1, n})$  повинні задовольняти наступній умові [1, 2]:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1. \quad (22)$$

Існуючі методи визначення, коефіцієнтів важливості часткових показників можна поділити на дві групи. До першої групи входять методи, засновані на використанні експертних оцінок.

До другої групи відносяться методи, що використовують для визначення коефіцієнтів важливості інформацію про важливість часткових показників природно-техногенної небезпеки, що міститься в неявному вигляді в значеннях цих показників. Ці методи ефективно застосовувати при оптимізації і оцінці ПТГЕС, коли можливо визначити детерміновані екологічні показники, і відомі необхідні (нормовані) значення екологічних показників (гранично допустимий скид, нульовий гідроекологічний потенціал тощо).

Існує декілька підходів до отримання інформації про важливість часткових показників природно-техногенної небезпеки з їх значень. Найбільшого поширення набули такі формули для обчислення коефіцієнтів важливості часткових показників природно-техногенної небезпеки [2, 5, 7, 9]:

$$\alpha_i = \frac{m(y_i)/y_i^0}{\sum_{i=1}^n m(y_k)/y_k^0}, i = \overline{1, n}, \quad (23)$$

$$\alpha_i = \frac{(y_i/y_i^0)_{\max}}{\sum_{i=1}^n (y_k/y_k^0)_{\max}}, i = \overline{1, n}. \quad (24)$$

На етапах проєктування природно-техногенних гідроекосистем в районах нафтогазовидобування можна застосовувати обидві групи методів.

Як показав проведений аналіз, підхід, заснований на моделі відстані, неявно використовується в багатьох методах скаляризування, які можуть розглядатися як його модифікації. Результати моделювання процесу ухвалення рішень експертами, що наводяться в [1, 10], дають підставу розглядати експертні оцінки як

результати виміру відстані до еталону в деякому латентному просторі.

Таким чином, всі методи оцінювання ефективності по цільовій функції об'єктів зводяться до виміру відстані до відповідного еталонного об'єкта. Ідея використання відстані від еталонного об'єкта як міри природно-техногенної небезпеки об'єктів реалізується в явному вигляді в моделі відстані. Інші методи оцінювання об'єктів використовують цю ідею в неявному вигляді.

Отже, найбільш стійку оцінку, яка дозволяє порівнювати не лише різні варіанти, але й оптимізувати параметри, одержуємо, якщо як еталонну модель використовувати теоретично граничну (ідеальну) модель, що має одночасно всі найкращі показники. При такому уявленні еталонна модель завжди розташовується на початку координат, а комплексний показник є відстанню від початку координат до порівнюваної моделі. Специфіка нормування часткових показників, що використовується в даній роботі, полягає в забезпеченні умови повного зрівнювання абсолютних пріоритетів комплексного критерію при рівних відносних змінах. Запропоновано варіанти визначення вагових коефіцієнтів часткових показників природно-техногенної небезпеки.

В процесі досліджень, спрямованих на вдосконалення показників екологічної безпеки природно-техногенних гідроекосистем в районах нафтогазовидобування, оцінку ефективності різних варіантів доцільно проводити за узагальненим критерієм ефективності з використанням моделі відстані до еталонного варіанту. В подальших дослідженнях планується опробування моделі на ПТГЕС території Карпатського регіону.

### Література

- 1 Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов и др. – М.: Деловой экспресс, 2002. – 368 с.
- 2 Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.Б. Статников. – М.: Наука, 1981. – 110 с.
- 3 Мазур И.И. Инженерная экология. Общий курс: В 2 т. Теоретические основы инженерной экологии / И.И. Мазур, О.И. Молдованов, В.Н. Шишов; под ред. И.И. Мазура. – М.: Высш. шк., 1996. – Т.1. – 637 с.
- 4 Мессарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М.Мессарович. – М.: Мир, 1973. – 311 с.
- 5 Об адекватности математических моделей реальному объекту. Векторная идентификация / М.Д. Генкин, Р.Б. Статников, И.Б. Матусов, М.Д. Перминов // Доклады академии наук. – 1987. – Т. 294. – № 3. – С. 549-552.
- 6 Иберла К. Факторный анализ / К.Иберла. – М.: Статистика, 1980. – 398 с.

7 Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения; пер с англ./ Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1983.

8 Глухов В.В. Экономические основы экологии / В.В. Глухов, Т.В. Лисочкина, Т.П. Некрасова. – СПб.: Специальная литература, 1997. – 304 с.

9 Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач; пер. с англ. / Дж.Клир. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.

10 Бешелев С.Д. Экспертные оценки / С.Д. Бешелев, Р.Г. Гурвич. – М.: Наука, 1973. – 157 с.

11 Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования / Д.И.Батищев. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.

12 Одум Г. Энергетический баланс человека и природы; пер. с англ. / Г. Одум, Э. Одум. – М.: Прогресс, 1978 – 380 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*

*01.06.11*

*Рекомендована до друку професором*

**Я.О. Адаменком**